

花椒精油的萃取及生物活性成分应用研究进展

宫旭胤¹, 马学军¹, 景照明², 康芳娥², 金 茜¹

(1. 甘肃省农业科学院畜草与绿色农业研究所, 甘肃 兰州 730070;

2. 嘉峪关市文殊镇畜牧兽医站, 甘肃 嘉峪关 735100)

摘要: 花椒精油是从花椒果壳、叶等部位所提取的植物精油, 其独特的香气和麻味以及多种生物活性物质除了传统的调味用途外, 还具有灭菌、杀虫、保鲜、药理等多种作用。为了给畜牧健康养殖、安全保鲜及花椒精油的进一步开发利用提供更多思路和支持。通过查阅相关文献, 归纳总结了花椒精油的主要成分、提取方式、微胶囊制备工艺以及生物活性抗菌、保鲜、药理等研究现状。花椒精油优秀的广谱抗菌效应和保鲜作用结合花椒精油微胶囊制备工艺可以更好地保留其生物活性, 不仅可广泛地应用于食品调味、果蔬保鲜等方面, 在我国畜牧业向全面无抗养殖发展的背景下, 作为优良的植物来源保鲜剂和替代抗生素添加剂, 在畜牧业杀虫灭菌、健康养殖、肉产品货架期保鲜等环节也有着广阔的应用前景。

关键词: 花椒; 花椒精油; 生物活性; 萃取

中图分类号: S-1

文献标志码: A

文章编号: 2097-2172(2023)06-0501-05

doi:10.3969/j.issn.2097-2172.2023.06.003

Research Progress on the Extraction of Essential oil from *Zanthoxylum bungeanum* Maxim and Application of Its Bioactive Components

GONG Xuyin¹, MA Xuejun¹, JING Zhaoming², KANG Fange², JIN Qian¹

(1. Institute of Animal Husbandry, Pasture and Green Agriculture, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070, China; 2. Animal Husbandry and Veterinary Station in Wenshu Township, Jiayuguan, Jiayuguan Gansu 735100, China)

Abstract: *Zanthoxylum bungeanum* essential oil is a plant essential oil extracted from the shell, leaves, and other parts of *Zanthoxylum bungeanum*. Its unique aroma, numbing taste, and various bioactive compounds not only play an important role in traditional seasoning, but also have various functions such as sterilization, pest control, preservation, and pharmacology. In order to provide references for green animal husbandry, product fresh-keeping, deep processing technology and comprehensive utilization of *Zanthoxylum bungeanum* essential oil, this paper summarizes the research status of the chemical components, extraction method, microcapsule preparation process, effects of antibacterial, fresh-keeping and pharmacology of *Zanthoxylum bungeanum* essential oil. The excellent broad-spectrum antibacterial and fresh-keeping effects of *Zanthoxylum bungeanum* essential oil, combined with the microcapsule preparation process, could better preserve its biological activity, which could not only be widely used in cooking seasoning, fruit and vegetable preservation, but also be used as an excellent plant source preservative and alternative antibiotic additive in the context of China's animal husbandry development towards comprehensive antibiotic-free era. It also has broad application prospects in pest killing, sterilization, green rearing of animals and the extension of shelf life and preservation of meat products in animal husbandry industry as well.

Key words: *Zanthoxylum bungeanum* Maxim; *Zanthoxylum bungeanum* essential oil; Biological activity; Extraction

花椒属芸香科, 是重要的食用调味品、中药材和香料^[1]。花椒起源于中国, 据史料记载, 我国从春秋战国时期就开始食用花椒, 花椒在中国的栽培和使用历史已经接近 3 000 年, 其在亚洲、美洲、非洲及大洋洲等全球范围内均有广泛分布。中国一直以来是花椒种植第一大国, 除东北、内蒙古等少数地区的其他省份均有种植, 分布范围

广、种植面积大。目前花椒品种有 250 余种, 在中国约有 45 个种和 13 个变种, 种植的主要代表品种有大红袍、藤椒、九叶青等^[1]。

花椒的粗脂肪含量较高, 鲜花椒皮与花椒籽的脂肪含量约为 10.8% 和 25.3%^[2], 花椒精油是从花椒果壳及花椒叶等部位所提取的植物精油, 拥有花椒独特的香气和麻味以及花椒的生物活性

收稿日期: 2023-04-24

基金项目: 国家绒毛用羊产业技术体系岗位科学家任务(cars-39-18); 嘉峪关市重点研发计划项目(21-22)。

作者简介: 宫旭胤(1983—), 男, 甘肃武威人, 副研究员, 硕士, 研究方向为动物遗传育种与繁殖。Email: ngx@gsagr.ac.cn。

通信作者: 金 茜(1987—), 女, 甘肃兰州人, 硕士, 研究方向为草地营养。Email: 2786723553@qq.com。

物质。由于长期以来畜牧业舍饲养殖中滥用抗生素,一度导致下游产品流入餐桌,影响人类健康。我国于2020年7月起在养殖行业中全面禁用抗生素,因此寻找优良的抗生素替代产品成为畜牧养殖中的关键问题。花椒精油中含有芳樟醇、生物碱、酰胺等多种活性物质,具有抗菌、杀虫、肉类保鲜、抗氧化等作用。徐红艳^[3]发现,以花椒精油为主要成分制成的复配香辛料精油对藏羊肉表面进行涂抹处理,发现复配香辛料精油处理明显减缓了藏羊肉腐败变质,延长藏羊肉的保鲜期。张明良等^[4]发现,小尾寒羊日粮中添加花椒精油可提高其生产性能并促进其胃肠道组织结构发育等。可见花椒植物精油的活性成分在畜牧业杀虫灭菌、无抗养殖,健康养殖,货架期保鲜等环节均能发挥作用。因此,我们通过查阅相关文献,归纳总结了花椒精油的主要成分、提取方式、聚合物包埋形成微胶囊方法、生物活性抗菌保鲜药理等方面的研究现状,以期为畜牧健康养殖、安全保鲜及花椒精油的进一步开发利用提供更多思路 and 支撑。

1 花椒精油的主要成分

花椒的主要活性成分包括烯烃类化合物、醇类化合物、酮类化合物、酯类化合物等,主要香味物质为水芹烯、芳樟醇、柠檬烯等,主要麻味物质为羟基- α -山椒素、羟基- β -山椒素、羟基- γ -山椒素^[5]。不同部位花椒精油的主要成分不同,花椒果精油的主要成分是4-萜烯醇、桉叶油醇、芳樟醇、月桂烯、(+)-柠檬烯,花椒叶精油的主要成分是棕榈酸、植物醇,花椒果和花椒叶精油差异标识化合物的主要成分是 α -蒎烯、芳樟醇、棕榈酸、(+)-柠檬烯、4-萜烯醇、植物醇、棕榈酸、 β -石竹烯和乙酸松油酯^[6]。芳樟醇、乙酸芳樟酯、柠檬烯是不同产地花椒精油共有主要成分,但不同产地的花椒精油的具体成分及其含量都有较大差别,这与花椒的品种、生长土壤、外部环境等因素有关。产地为重庆的青花椒精油主要成分是芳樟醇、桉烯、 β -月桂烯、 α -蒎烯、苧烯、 α -侧柏酮、 α -侧柏烯、4-松油醇、 β -蒎烯、香叶醇、 α -异松油烯、 α -松油醇、橙花叔醇、乙酸芳樟酯、榄香醇、 β -侧柏酮^[7],产地为河南的花椒精油主要成分是乙酸芳樟酯(24.10%)、芳樟醇(18.72%)、反式-茴香脑(6.87%)、棕榈酸

(5.65%)、1S-a-1蒎烯(5.60%)^[8],产地为甘肃陇南的大红袍花椒精油主要成分是(+)-柠檬烯(14.130%)、乙酸芳樟酯(11.463%)、芳樟醇(10.168%)^[9],产地为甘肃天水的花椒精油主要成分是芳樟醇(15.05%)、双戊烯(11.79%)、乙酸芳樟酯(11.17%)、 β -蒎烯(9.33%)、(-)-4-萜品醇(6.04%)、桉叶油醇(4.62%)^[10],产地为陕西韩城的大红袍花椒精油主要成分是(+)-柠檬烯(13.710%)、桉油精(10.539%)、 β -月桂烯(8.810%)^[9],产地为四川的花椒精油主要成分是2,6,9,11-十二烯-1-羧酸甲酯(12.428%)、乙酸-4-萜烯酯(11.249%)、氧化石竹烯(8.768%)、D-柠檬烯(7.902%)、桉叶油醇(5.935%)^[11],产地为四川汉源红的花椒花椒精油主要成分是芳樟醇(22.121%)、(+)-柠檬烯(19.044%)、乙酸芳樟酯(15.442%)^[9],产地为四川茂汶的大红袍花椒精油主要成分是(+)-柠檬烯(16.831%)、乙酸芳樟酯(14.017%)、芳樟醇(11.694%)^[9],产地为山西太原的花椒精油主要成分是1-(2-羟基-4,6-甲氧基苯基)-乙基酮(41.060%)、3-甲基-6-(1-甲基乙基)-2-环己烯-1-酮(3.950%)、4-亚甲基-1-(1-甲基乙基)-环己烯(3.650%)、 β -水芹烯(2.680%)^[12],产地为山东沂蒙的花椒精油主要成分是 β -水芹烯、对-薄荷烯-1-醇-4、冬青油烯、4-羟基-3,5-二甲氧基苯乙酮、洋薄荷酮、 β -月桂烯、 α -蒎烯、 γ -萜品烯、 α -萜品烯和沉香醇^[13]。

2 花椒精油的提取方式

目前,花椒精油的提取工艺包括水蒸气蒸馏法、有机溶剂常规浸提法、超临界萃取法、亚临界萃取法和微波辅助萃取法等。水蒸气蒸馏法是传统的提取方法,通过蒸馏获得花椒精油,但加热过程可能会使一些成分氧化。有机溶剂浸提法可提取出水蒸气蒸馏法不能获得的麻辣成分,但香料的稳定性较差。超临界CO₂萃取法结合了溶剂提取法和蒸馏法的优点,萃取能力强,且萃取得到的花椒精油不含有机溶剂残留。微波辅助萃取法通过微波辅助处理可提高得油率。

2.1 水蒸气蒸馏法

水蒸气蒸馏法是花椒精油提取常用传统方法,通过蒸馏蒸汽冷凝后,经油水分离得到花椒精油。其优点是花椒的香气成分不会因水解而受损,但

加热过程可能使一些成分发生氧化。寇芸芸^[14]在花椒成分分析中发现, 蒸馏时间、浸泡时间、加水量、提取温度是影响水蒸气蒸馏法提取花椒精油的 4 个主要因素, 影响因素的顺序为蒸馏时间 > 浸泡时间 > 加水量 > 提取温度, 并进一步优化获得了花椒精油蒸馏法优化工艺, 该优化工艺为花椒粉浸泡时间 6 h、超声时间 9 h、提取温度 100 ℃ 和 4 倍加水量, 该条件下提取率为 1.42%^[14]。

2.2 溶剂提取法

浸提法是采用有机溶剂来提取花椒精油, 可浸提出水蒸气蒸馏法不能获得的山椒酰胺、山椒辣素等麻辣成分。但是常规浸提法提取的花椒精油中香料的稳定性较差, 挥发时损失会比较大, 目前在研究和生产应用中较为少见。韩同山^[15]以无水乙醇作溶剂, 采用回流法提取, 优化常规浸提工艺为温度约 78 ℃、4 h 可达到最佳提取效果、最高萃取率为 11.84%。贾春晓等^[8]同样采用无水乙醇作为溶剂, 采用超高压萃取, 优化工艺为压力 3 000 kg/cm²、料液比 1 : 40、保压时间 3 min, 此条件下的萃取率为 24.10%。

2.3 超临界 CO₂ 萃取法

超临界 CO₂ 萃取法产生于 20 世纪 80 年代, 是利用处于临界温度和临界压力之上的超临界流体 CO₂ 作为萃取剂, 从液体或固体中萃取分离特定成分的新型分离技术。超临界 CO₂ 萃取装置萃取花椒精油的流程为: CO₂ 钢瓶 - 加压液化系统 - 萃取釜 - 解析釜。该萃取法结合了溶剂提取法和蒸馏法优点, 萃取能力较强, 既能得到水蒸气蒸馏法所不能得到的成分, 又因为操作温度低不易氧化有效成分; 且通过超临界萃取法萃取的花椒精油不会有有机溶剂残留, 可直接用于食品工业^[16]。相关工艺的研究也较多, 周敏等^[17]的优化工艺为萃取压力 300 kg/cm²、温度 40 ℃、时间 130 min, 萃取率为 10.81%; 吴静^[11]的优化工艺为花椒粉目数 60、萃取压力 263 kg/cm²、时间 151.8 min、温度 50 ℃、CO₂ 流量 21 L/h, 此条件下的萃取率为 11.15%。

2.4 微波辅助萃取法

微波辅助萃取法是在水蒸气蒸馏法蒸馏前及溶剂提取法的常规萃取环节增加微波辅助处理环节, 微波辅助处理后能够促进花椒精油的析出, 提高得油率。黄志远等^[18]以无水乙醇为溶剂, 在常规提

取法中加入微波辅助处理环节, 发现得油率增加了 9.96%。此萃取法的最佳工艺条件为液料比 10.3 : 1、微波功率 502 W、微波处理时间 6 min、提取温度 60 ℃, 在此条件下萃取率预计能达到 7.96%。

3 花椒精油微胶囊制备

花椒精油是一种挥发性油, 在光、热、氧等条件下化学性质不太稳定, 所以在运输、保存、使用方面受到一定限制^[19]。利用高分子聚合物包埋花椒精油形成微胶囊, 可以提高花椒精油的稳定性。制作花椒精油微胶囊的壁材有明胶 - 多糖、海藻酸钠、阿拉伯胶、生香酿酒活性干酵母、羟丙基-β-环糊精、大豆分离蛋白, 制备干燥方法包括冷冻干燥、喷雾干燥、真空干燥等, 根据制备壁材不同, 制备方法也各异。制备壁材为明胶 - 多糖的方法为复凝聚法、冷冻干燥法, 制备工艺为明胶与银杏多糖 5 : 2, 芯材壁材比 1 : 8, pH 4.3, 乳化剂为 3% 蔗糖酯, 固化剂为 12% 谷氨酰胺转氨酶^[19]。制备壁材为海藻酸钠的方法为喷雾干燥法, 制备工艺为首先制备质量分数为 1.5% 的海藻酸钠壁材溶液和体积分数 0.25% 的花椒精油, 磁力搅拌器 3 h, 10 000 rpm 条件下均质, 喷雾干燥机进口温度 180 ℃、风机频率 50 Hz、蠕动泵转速 15 r/min、通针间隔时间 5 s 的条件下喷雾干燥^[20]。制备壁材为阿拉伯胶、麦芽糊精、大豆蛋白(1 : 2 : 2)的方法为喷雾干燥法, 制备工艺为芯材壁材比 1 : 4, 均质 3 次(7 000 r/min、6 min, 10 000 r/min、6 min, 10 000 r/min、9 min), 进风温度 175 ℃^[21]。制备壁材为生香酿酒活性干酵母的方法为真空干燥法。制备工艺为干酵母和蒸馏水比例为 1 : 8, 加入花椒精油, 8 000 r/min 高速分散均质 10 s, 100 r/min 水浴恒温振荡, 花椒精油通过渗透扩散作用进入酵母细胞内, 形成微胶囊; 600 r/min 离心 10 min, 离心沉淀物真空抽滤并用无水乙醇冲洗 2 ~ 3 次, 60 ℃ 真空干燥 12 h 获得花椒精油微胶囊^[22]。制备壁材为羟丙基-β-环糊精、大豆分离蛋白的方法为冷冻干燥法, 制备工艺为花椒精油浓度 1.8%, 壁芯比为 7, 加水量与壁材比为 16, 均质时间 50 s; 按工艺条件制备的花椒精油微胶囊包埋率为(96.35 ± 0.94)%^[23]。

4 花椒精油的生物活性研究与应用

4.1 杀虫抑菌

我国很早就在生活实践中就有了花椒杀虫的应

用, 现代花椒精油活性研究发现其富含多种活性成分具有杀虫抑菌作用。研究表明, 花椒精油对玉米象成虫、幼虫、卵、白纹伊蚊、蛔虫具有显著的致死、熏杀作用^[24-25]; 对疥螨、赤拟谷盗有较强的触杀作用^[26]。花椒精油对 AChE、CarE 两种小菜蛾有很强的抑制作用, 抑制率可达 23.94%、37.07%^[27]; 能降低松材线虫的运动行为能力, 在使用 4 h 后完全杀灭松材线虫^[28]; 对菜豆象熏蒸处理 24 h 后, 可达到 100%校正死亡率^[29]; 500 mg/L 浓度的花椒精油可驱避黑腹果蝇, 驱避率为 73.33%^[30]。目前对花椒精油的抑菌抗菌活性的研究也较为深入, 花椒精油具有广谱抑菌作用, 抑菌谱宽, 活性显著。其对多种致病细菌及真菌均有不同程度的抑制效果。在离体培养试验中花椒精油对常见致病菌种金黄色葡萄球菌、大肠杆菌、表皮葡萄球菌、白色葡萄球菌、伤寒杆菌、枯草芽孢杆菌、伤寒沙门氏菌、绿脓杆菌的生长均表现不同程度的抑活性^[31-32]。对金黄色葡萄球菌、大肠杆菌、枯草芽孢杆菌的 MIC (最低抑菌浓度) 值分别为 1.25、2.50、2.50 mg/mL^[33]。还对常见的黄曲霉、黑曲霉、啤酒酵母都有显著的抑菌作用, MIC 分别为 3.125、12.5、12.5 g/L^[34-35]。张正周等^[36]在花椒精油对‘红提’葡萄致病菌离体抑菌试验研究中发现花椒精油对‘红提’葡萄 3 种致病菌青霉菌、黑根霉菌、黑曲霉菌表现出良好的抑菌作用, 抑菌 MIC 分别为 78 μ L/L、78 μ L/L、 \leq 39 μ L/L, 抑菌 MBC(最低杀菌浓度)均为 78 μ L/L。王聪等^[37]离体抑菌研究结果表明, 花椒精油对引起苹果梨主要采后病害的青霉病、黑斑病的致病菌 *P. Expansum*(扩展青霉)及 *A. Alternata*(链格孢)有抑制作用。

4.2 保鲜作用

肉类及果蔬的加工、运输、贮藏过程中, 易发生腐败变质影响食品安全, 通常需要加防腐剂。花椒精油既具有抗菌作用, 又有调味作用, 且安全性高, 目前成了保鲜剂研发的热点之一。花椒精油对猪肉制品中微生物生长繁殖具有很强的抑制效果, 且含量越高对猪肉的保鲜效果越好^[35]。徐红艳^[3]发现, 藏羊肉以花椒精油为主要成分制成的复配香辛料处理后, 提高了藏羊肉表面疏水性, 减缓了脂质氧化速率及 SOD、CAT、POD 等抗氧化酶活性的下降速率, 明显减缓了藏羊肉腐败变

质, 延长了保鲜期。蔡华珍等^[38]研究还发现, 含有花椒精油的复配精油能使调理鸡肉串在 4 $^{\circ}$ C 下保鲜达 20 d, 25 $^{\circ}$ C 下保鲜 16~18 h。在蔬果的保鲜中花椒精油也发挥着重要作用, 花椒精油的柠檬烯、 α -蒎烯等主要成分能抑制苹果的黑斑病、青霉病, 延缓贮藏后期苹果梨果实脆度和硬度的下降及后期果实胶黏性和黏着性的升高^[37, 39]。张红梅^[20]将花椒精油微胶囊用于葡萄的采后处理, 发现可抑制葡萄采后主要腐败菌青霉属、根霉属及梅奇酵母属的生长, 显著降低腐烂率, 抑制总酚和类黄酮含量的下降, 显著保持葡萄良好的感官品质。杨波等^[40]研究发现, 花椒精油保鲜剂会有效抑制芒果采后炭疽病、蒂腐病病原菌的侵染, 同时能够抑制果实水分流失, 控制硬度和 Vc 含量的下降, 对芒果均有一定的保鲜作用, 且不会对其原有风味产生不良影响。

5 展望

国内外对花椒精油的化学组成、生物活性分析、萃取工艺等已进行了较为系统和深入的探究。而花椒又有着种植范围广、产量大、原材料成本低、植物来源安全性高等特点, 因此拓宽花椒精油的应用领域和用途, 成了当下花椒精油应用研究的热点。花椒精油优秀的广谱抗菌效应和保鲜作用结合花椒精油微胶囊制备工艺可以更好地保留其生物活性。不仅可广泛地应用于食品调味、果蔬保鲜等方面, 在我国畜牧业向全面无抗养殖发展的背景下, 作为优良的植物来源保鲜剂和替代抗生素添加剂, 在畜牧业杀虫灭菌、健康养殖、肉产品货架期保鲜等环节也有着广阔的应用前景和深入研究的意义。

参考文献:

- [1] 李建国, 杨慧珍, 王平生, 等. 不同配方施肥对花椒产量的影响[J]. 甘肃农业科技, 2022, 53(2): 58-62.
- [2] 胡晴文, 彭郁, 李茉, 等. 花椒油和花椒籽油提取技术研究进展[J/O/L]. 中国油脂: 1-13(2023-01-13) [2023-04-23]. <https://kns.cnki.net/KXReader/Ddetail?invoice>. DOI: 10.19902/j.cnki.zgyz.1003-7969.220697.
- [3] 徐红艳. 复配香辛料精油处理对藏羊肉贮藏期内品质变化分析及货架期模型构建[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2020.
- [4] 张明良, 张海龙, 马世鹏, 等. 花椒精油对小尾寒羊生产性能和胃肠道组织结构的影响[J]. 中国畜牧兽医, 2023, 50(2): 556-563.
- [5] 张政. 花椒风味物质的研究及其标准品制备[D].

- 成都:西南交通大学,2021.
- [6] 余丽.花椒化学型与其结构发育相关性的研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2021.
- [7] 吴素蕊,阚建全,刘蓓,等.不同干燥青椒香气成分比较研究[J].香料香精化妆品,2007(6):1-5;9.
- [8] 贾春晓,张瑾洁,贾蓓蕾,等.超高压萃取花椒精油及其化学成分分析[J].中国调味品,2015,40(7):51-55.
- [9] 周杰,刘璐,邱盛敏,等.不同产地花椒精油的化学成分分析及花椒精油固体制剂的抗真菌作用考察[J].中国实验方剂学杂志,2021,27(2):153-160.
- [10] 熊李波,秦强,胡培芳,等.混料设计优化孜然、花椒、芥子混合精油对4种果蔬采后真菌的抑菌效果[J].食品科学,2019,40(3):208-216.
- [11] 吴静.花椒精油的提取工艺、化学成分分析与抗菌活性研究[D].合肥:合肥工业大学,2017.
- [12] 王峰,王海平.萃取方法对花椒精油的化学成分、生物活性研究[J].食品研究与开发,2017,38(21):65-68.
- [13] 陆懋荪,尹佩玉,李丹尔,等.花椒精油成分的GC/MS分析[J].山东化工,1998(5):67.
- [14] 寇芸芸.花椒成分分析和杀虫活性研究[D].武汉:武汉轻工大学,2015.
- [15] 韩同山.从花椒中提取花椒精油的实验研究[J].纺织高校基础科学学报,2000(2):175-178.
- [16] 郭红祥,张慧珍,袁超,等.花椒精油萃取方法比较研究[J].中国农学通报,2005(5):141-142.
- [17] 周敏,刘福权,吕远平,等.花椒的超临界CO₂萃取和水蒸气蒸馏工艺对比研究[J].中国调味品,2022,47(8):101-105.
- [18] 黄志远,刘长玲.响应面优化微波辅助提取花椒精油的工艺研究[J].中国调味品,2018,43(2):103-107.
- [19] 李悦,叶淑红.复凝聚法制备花椒精油微胶囊及其性质研究[C]//中国食品科学技术学会.中国食品科学技术学会第十八届年会摘要集.天津:[出版者不详],2022:286-287.
- [20] 张红梅.花椒/牛至精油微胶囊的制备及其对葡萄贮藏品质的影响[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2022.
- [21] 金敬宏,吴素玲,孙晓明,等.花椒精油微胶囊工艺的研究[J].中国野生植物资源,2003(6):55-57.
- [22] 刘鑫,陈虹宇,李增威,等.响应面法优化花椒精油酵母微胶囊制备工艺[J].中国调味品,2017,42(6):61-66;76.
- [23] 张倩,孟凡冰,熊杨洋,等.响应面法优化花椒精油微胶囊的制备[J].中国调味品,2021,46(11):69-76.
- [24] 蒋小龙,杨嘉谷,刘文斌,等.花椒对玉米象、储粮曲霉和青霉防效的初步研究[J].郑州粮食学院学报,1992(3):30-39.
- [25] 王贵华,吴银明,李远潭.花椒的药用价值及栽培技术[J].四川农业科技,2010(9):40-41.
- [26] 吴素蕊,阚建全,刘春芬.花椒的活性成分与应用研究[J].中国食品添加剂,2004(2):75-78.
- [27] 孙红霞,占志雄,吴珍泉,等.5种植物精油对小菜蛾幼虫的触杀作用及两种酶活性的影响[J].福建农业学报,2008(3):274-276.
- [28] 束成杰,张孟丽,赵孔发,等.青花椒水提物及精油对松材线虫的防治探究[J].中国野生植物资源,2019,38(2):11-15.
- [29] 廖应江,戴仁怀,吴丽红,等.4种植物精油对菜豆象成虫的熏蒸、触杀和驱避作用研究[J].植物检疫,2020,34(5):50-55.
- [30] 杨雪,王照国,余帅,等.7种植物精油对黑腹果蝇驱避/引诱活性及其化学成分分析[J].植物保护,2021,47(6):190-195;212.
- [31] 刘巧,钟灵允,曾佳恒,等.7种芸香科植物精油抑菌活性的研究[J].中国食品添加剂,2020,31(5):37-41.
- [32] TAVARES L D C, ZANON G, WEBER A D, et al. Structure-activity relationship of benzophenanthridine alkaloids from *Zanthoxylum bungeanum* Maxim rhoifolium having antimicrobial activity[J]. PLoS One, 2014, 9(5): e97000
- [33] 杜云霄,袁小钧,蔡雪梅,等.E-Nose结合GC-MS分析两种花椒精油成分及其抑菌活性研究[J].中国调味品,2022,47(3):164-169.
- [34] TANTAPAKUL C, PHAKHODEE W, RITTHIWIGROM T, et al. Antibacterial compounds from *Zanthoxylum bungeanum* Maxim rhetsa[J]. Arch Pharm Res, 2012, 35(7): 1139-1142.
- [35] 江洁芳.花椒中抑菌活性成分提取工艺的研究[J].中国调味品,2011,36(3):30-32.
- [36] 张正周,姚瑞玲.花椒精油对红提葡萄致病菌抑菌效果的影响[J].农业与技术,2015,35(1):6-8.
- [37] 王聪,沈浩,蒲国顺,等.花椒精油对苹果梨采后青霉病的控制及感官和质地品质的影响[J].食品与发酵工业,2021,47(24):219-225.
- [38] 蔡华珍,何玲,汪巧,等.几种常用香辛料精油对冷藏调理鸡肉串的保鲜效果[J].食品与发酵工业,2016,42(7):236-241.
- [39] 郭云云,陈杰新,郗满义,等.甘肃平凉苹果树腐烂病发生及防治现状调查[J].甘肃农业科技,2022,53(5):46-51.
- [40] 杨波,王卉,杭瑜瑜,等.精油固体保鲜剂对芒果保鲜效果的研究[J].科技视界,2016(16):57-58.